

634
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

3080

В.Г. Зинов

АТОМНЫЙ ЗАХВАТ
ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ МЮОНОВ В ВЕЩЕСТВЕ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -
доктор физико-математических наук

А.И. Мухин

Дубна 1966

3080

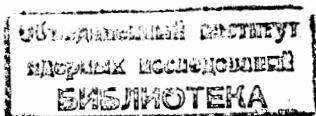
В.Г. Зинов

АТОМНЫЙ ЗАХВАТ
ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ МЮОНОВ В ВЕЩЕСТВЕ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -
доктор физико-математических наук

А.И. Мухин



Поведение остановившихся в веществе отрицательных мюонов в значительной мере определяется химическим составом вещества. До недавнего времени было общепринято писать, что атомный захват отрицательных мюонов необходимо изучать потому, что в ряде опытов приходится использовать мишени из химических соединений (ядерная эмульсия, пузырьковая камера, радиохимические мишени). Интерпретация результатов в таком случае может зависеть от знания вероятности атомного захвата мюонов отдельными атомами сложного соединения. Однако, как впервые показали наши измерения, химия настолько активно вмешивается в процесс атомного захвата, что исследования в этом направлении представляют гораздо больший самостоятельный интерес.

Диссертация написана на основе работ, участником которых был автор и которые были выполнены на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в 1962-1966 гг. Основные результаты диссертации изложены в опубликованных статьях /1-7/, докладывались на научных сессиях по физике высоких энергий АН СССР 1965 и 1966 гг., на XII Международной конференции по физике высоких энергий в 1964 г.

Диссертация состоит из пяти глав. В первой главе описывается электронная аппаратура, использовавшаяся в опытах. Физическим исследованиям посвящены остальные главы, а именно: вторая - исследованию атомного захвата отрицательных мюонов в химических соединениях, третья - изучению структуры

K-серии при атомном захвате отрицательных мюонов в химических соединениях, четвертая - изучению структуры K-серии аргона при атомном захвате отрицательных мюонов в чистом газе и в смеси с водородом, пятая - атомному захвату отрицательных мюонов в смесях газов. В заключение приводятся основные результаты и выводы.

Цикл физических исследований проводился в течение нескольких лет. Естественно, что за это время был достигнут существенный прогресс как в постановке экспериментов, так и в усовершенствовании электронной аппаратуры. На смену электронным лампам пришли транзисторы, что резко увеличило долговечность и надежность электронной аппаратуры.

Отличительная особенность изготовленной аппаратуры — блочное оформление. В диссертации описываются только те ламповые блоки, которые использовались в описываемых опытах и являются оригинальными разработками автора.

Проведенные исследования работы ламп при низких напряжениях на электродах ^{/1/} позволили сконструировать простые блоки электронной аппаратуры. Быстрые многократные совпадения сделаны на основе лампы 6А4П. В управлении ее анодным током участвуют все четыре сетки: две управляющих и две экранных. Один из блоков быстрых двухкратных совпадений выполнен на 6В1П. Сигналы подаются на первую и экранную сетки. Блоки медленных "вторичных" совпадений сделаны на лампах с катодной сеткой типа 6Ж20П. В управлении участвуют первая и катодные сетки. Блок преобразования длительности временных интервалов в амплитуду сделан с лампами 6В2П и 6Ж9П. Описывается простая методика калибровки шкалы временных анализаторов с помощью кварцевого генератора ^{/2/}.

Самое широкое использование импульсных трансформаторов с ферритовыми сердечниками для межкаскадных соединений позволило резко снизить потребление анодного тока. Сконструированные блоки отличаются высокой надежностью. За все время работы не возникло необходимости в смене ламп.

II

Хотя изучению атомного захвата отрицательных мюонов в химических соединениях уже было посвящено несколько экспериментальных работ, общий объем выполненных исследований был невелик. В результате этих работ появился ряд хаотически разбросанных точек. Недостаточное количество экспериментального материала, недостаточная последовательность в выборе химиче-

ских соединений для исследований не позволяли сделать уверенных заключений о возможных закономерностях атомного захвата. Единственно, что было твердо ясно — простого "Z-закона" ^{/8/} на эксперименте не получается.

Почти во всех предыдущих работах для определения вероятности атомного захвата мюонов в химических соединениях использовался метод временного анализа. Мы изменили методику эксперимента. При определении вероятности атомного захвата за основу бралось изменение интенсивности K-мезорентгеновской серии от одного из элементов в чистом виде и от этого же элемента в химическом соединении. Преимущество выбранной методики сказалось, во-первых, в том, что с ее помощью удалось провести систематические измерения вероятности атомного захвата отрицательных мюонов в большом количестве химических соединений. Во-вторых, мы смогли определить вероятность атомного захвата мюонов в соединениях, состоящих из атомов с близкими или малыми Z ^{/3/}.

Первые же опыты, сделанные с окисью и перекисью магния, показали, что вероятность атомного захвата существенно зависит от химического состава вещества. Стало ясно, что если мы хотим хотя бы только наметить какую-либо закономерность в этой области, то выбор мишеней для исследований должен следовать определенному плану. Основные измерения были сделаны в окислах, причем таких, в которых элемент входит с "нормальной" валентностью, соответствующей номеру группы в таблице Менделеева. Экспериментальные результаты именно в этих окислах представлены на рис. 1 в графической форме (результаты нашей работы совместно с результатами других групп). Пунктирная кривая на рисунке объединяет точки и помогает проследить за характером предполагаемой зависимости вероятности атомного захвата от Z. Обращает на себя внимание периодичность изменения этой величины в соответствии с периодами в таблице элементов.

По сравнению с данными об окислах сведения о вероятности атомного захвата в галлоидных соединениях и сплавах металлов более скромные. На рис. 2 они представлены в графической форме (результаты нашей работы совместно с результатами других групп). Совокупность нанесенных точек группируется около прямой $0,66 \cdot Z_1 / Z_2$. Есть и вторая эквивалентная прямая — $1/0,66 \cdot Z_1 / Z_2$, поскольку неясно, по какому правилу выбирать Z_1 и Z_2 в числителе и знаменателе.

К вопросу о вероятности атомного захвата в химических соединениях непосредственно примыкают исследования структуры К-мезорентгеновской серии /4/.

Мы попытались экспериментально проверить роль внешней части электронной оболочки, т.е. валентных электронов, на общую картину мезоатомных переходов. Изучался относительный выход различных линий К-серии от атомов металлов в Ti и TiO₂, V и V₂O₅, Cr и Cr₂O₃. Именно с этих элементов начинается сильное расхождение экспериментальных данных по интенсивности высших линий К-серии и предсказаний теории /9/.

На рисунке 3 для примера приведены рентгеновские спектры от чистого титана и его окисла, а внизу – спектр продуктов ядерного захвата, который из них вычтен. При имеющемся энергетическом разрешении спектрометра NaJ в спектрах К-серии есть возможность выделить три составных части. Это (2р – 1s) – переходы – K_α-линия; (3р – 1s) – переходы – K_β-линия и сумма всех остальных переходов с более высоких уровней на 1s – K_γ-линия.

Тонкими линиями на рисунке обозначены компоненты разложения измеренных спектров. Жирной линией – их сумма.

В таблице приводятся окончательные результаты измерений величины интенсивностей K_α-, K_β-, K_γ-линий: J_α, J_β, J_γ.

Т а б л и ц а

Относительные интенсивности линий К-серии Ti, V, Cr

Вещество	Ti	TiO ₂	V	V ₂ O ₅	Cr	Cr ₂ O ₃
J _β /J _α	0,12± 0,01	0,12± 0,01	0,11± 0,01	0,09± 0,01	0,13± 0,01	0,11± 0,01
J _γ /J _α	0,25± 0,01	0,14± 0,01	0,28± 0,02	0,19± 0,01	0,33± 0,02	0,22± 0,01
J _β +J _γ /J _α	0,37± 0,02	0,26± 0,02	0,40± 0,02	0,28± 0,02	0,46± 0,03	0,33± 0,02

Из таблицы видно, что вероятность перехода мюона с высоких уровней сразу на основной существенно зависит от химического состава вещества. Разница же между атомами, например, титана в чистом Ti и в TiO₂ состоит только в том, что изменены состояния самых внешних, валентных электронов. Оказывается, однако, что изменения в структуре вещества, ведущие к небольшим энергетическим изменениям в электронной оболочке, играют существенную роль в последующих каскадных переходах. Это, наряду с результатами исследования вероятности атомного захвата в окислах, говорит о том, что заметная доля остановившихся мюонов в конденсированных средах захватывается из области непрерывного спектра вначале на очень высокие "молекулярные" энергетические уровни атомов /10/, лежащие в области внешних валентных электронов.

IV

Исследование структуры К-серии аргона в чистом виде и в смеси с водородом /6/ является продолжением аналогичных опытов с окислами металлов.

Особенность взятой смеси газов (50 ат H₂ + 0,5 ат Ar) состоит в том, что вначале подавляющая часть мюонов захватывается водородом и быстро достигает 1s уровня мезоатома рμ с энергией связи 2,5 кэВ. Далее практически все мюоны от протона перехватываются на аргон. Возможно, при перехвате на какое-то время образуется сильносвязанная мезомолекула (р – μ – Ar), а мюон оказывается на общем уровне этой молекулы. За счет отсутствия центральной симметрии электрического поля, т.е. снятия запретов по изменению орбитального момента, значительная доля мюонов имеет возможность упасть сразу на 1s уровень атома аргона без промежуточных каскадных переходов. В спектре это должно находить свое выражение в резком увеличении выхода K_γ-линии, что и наблюдалось на опыте (рис. 4). Подобный результат является естественным. Даже небольшие изменения мезомолекулярных уровней, лежащих в зоне валентных электронов, как это было в случае окислов металлов, приводят к существенным изменениям в интенсивностях линий К-серии. При энергии связи мюонов 2,5 кэВ в молекуле (р – μ – Ar) это сказалось еще сильнее. Интенсивность K_γ-серии аргона выросла до 50%.

Изучение структуры К-серии аргона как в чистом виде, так и в смеси с водородом интересно с точки зрения дальнейшего изучения механизма перехвата отрицательного мюона от μp -атома к ядру с зарядом Z . Результаты нашей работы касаются механизма перехвата мюона в нижнее состояние μZ -атома после перехвата μ^- от протона.

V

Торможение заряженной частицы в веществе непосредственно перед остановкой зависит от индивидуальных особенностей среды, в которой происходит остановка. Наиболее сильно это должно проявляться в случае отрицательно заряженных частиц, последним шагом которых является атомный захват. Используемое в ряде случаев предположение, что вероятность атомного захвата в смесях веществ пропорциональна их заряду - „Z-закон“, - в этом случае также вызывает серьезное сомнение. Тем более, известно, что в химических соединениях такая пропорциональность не имеет места.^{/3/}

Была сделана работа по определению относительной вероятности посадки отрицательного мюона на тот или другой газ в однородной смеси^{/7/}. Для исследований подбирались отличающиеся по своей структуре газы. Одноатомные инертные - гелий, неон и аргон, многоатомные - азот и углекислый газ.

На рис. 5 представлены полученные результаты. Во всех случаях аргон служил тем газом, по отношению к которому определялась вероятность захвата мюонов другими газами: $R = W(Z) / W(Ar)$. Экспериментальные точки для инертных газов соединены плавной пунктирной линией.

Видно, что в смесях веществ вероятность захвата мюонов компонентами смеси не пропорциональна их заряду. Плавная зависимость от Z , вероятно, существует для одноатомных газов.

Литература

1. В.Г. Зинов. ПТЭ, 1, 173 (1963).
2. В.Г. Зинов. ПТЭ, 1, 165 (1963).
3. В.Г. Зинов, А.Д. Конин, А.И. Мухин. ЯФ, 2, 859 (1965).
4. В.Г. Зинов, А.Д. Конин, А.И. Мухин. Препринт ОИЯИ, Р-2039, Дубна, 1965.
6. Ю.Г. Будяшов, П.Ф. Ермолов, В.Г. Зинов, А.Д. Конин, А.И. Мухин. Препринт ОИЯИ, Р-2807, Дубна, 1966.

7. Ю.Г. Будяшов, В.Г. Зинов, А.Д. Конин, А.И. Мухин. Препринт ОИЯИ, Р-2788, Дубна, 1966.

8. E. Fermi, E. Teller. Phys. Rev., 72, 399 (1947).

9. Y. Eisenberg, D. Kessler. Nuovo Cim., 19, 1195 (1961).

10. Л.И. Пономарев. ЯФ, 2, 223 (1965).

Рукопись поступила в издательский отдел
22 декабря 1966 г.

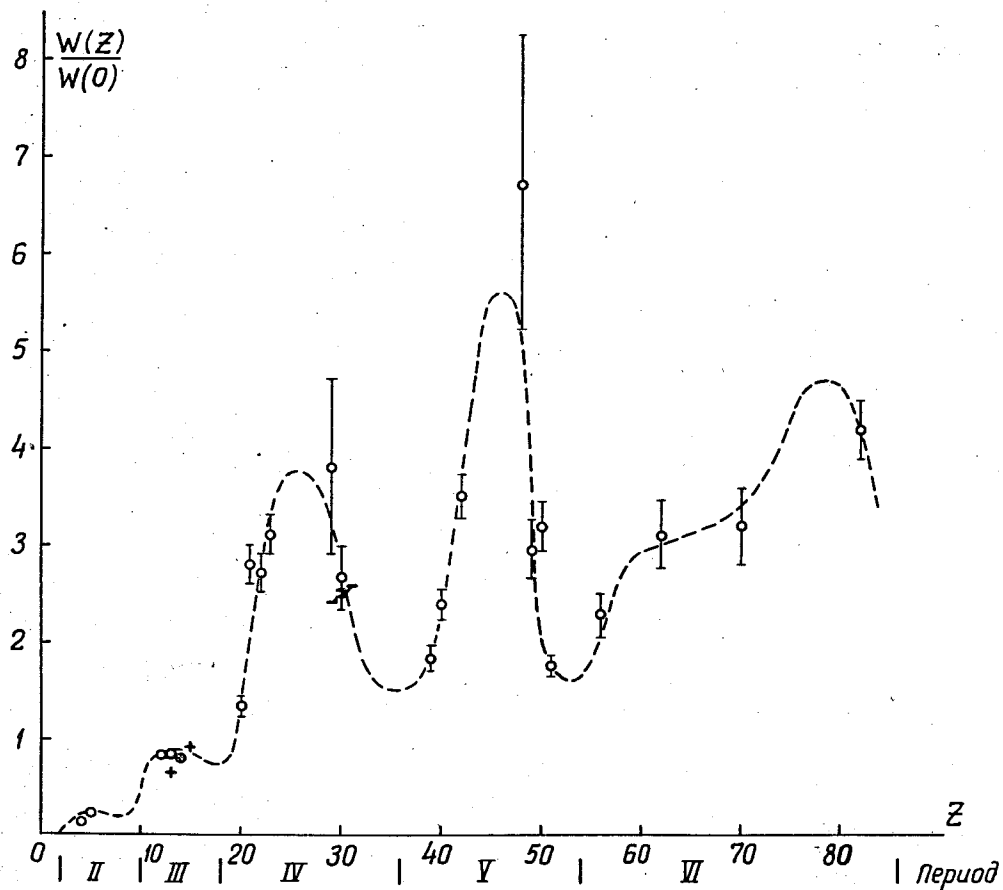


Рис. 1. Отношение вероятностей атомного захвата отрицательных мюонов в окислах: \circ - настоящая работа; $W(Z)$, $W(O)$ - вероятность атомного захвата мюона на одно ядро Z и на одно ядро кислорода соответственно.

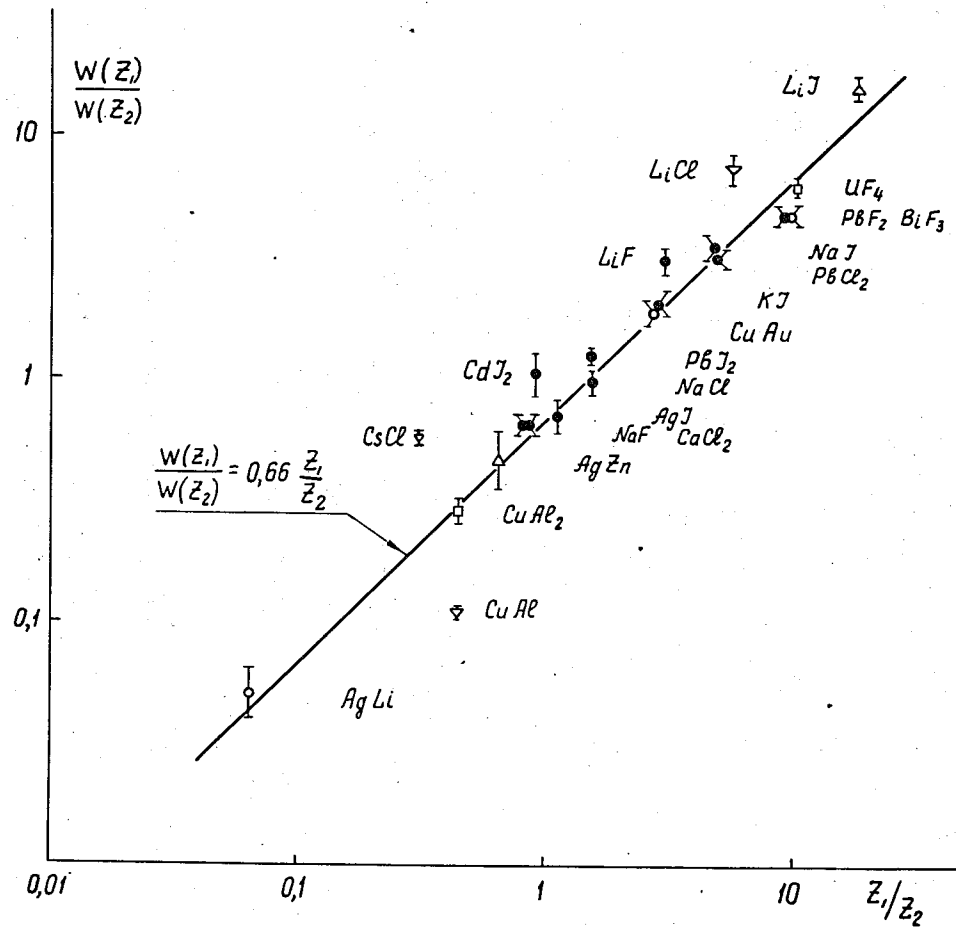


Рис. 2. Отношение вероятностей атомного захвата отрицательных мюонов в галогидных соединениях и в сплавах металлов: \bullet - настоящая работа; $W(Z_1)$, $W(Z_2)$ - вероятность атомного захвата мюона на одно ядро Z_1 и Z_2 соответственно.

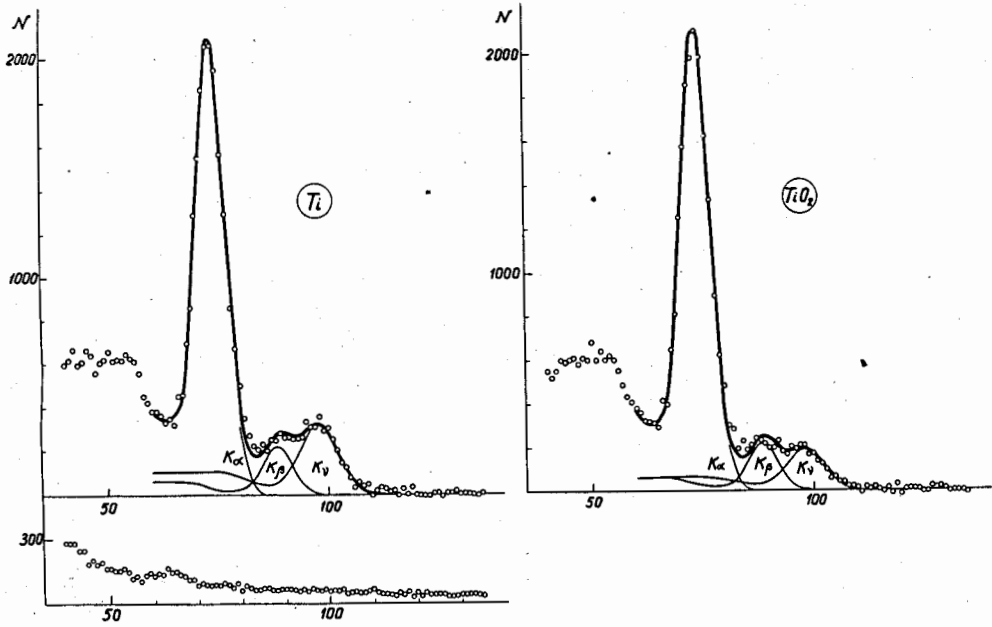


Рис. 3. Спектр рентгеновского излучения мюонов от мише ней Ti и TiO₂.
Внизу - спектр продуктов ядерного захвата мюонов в Ti.

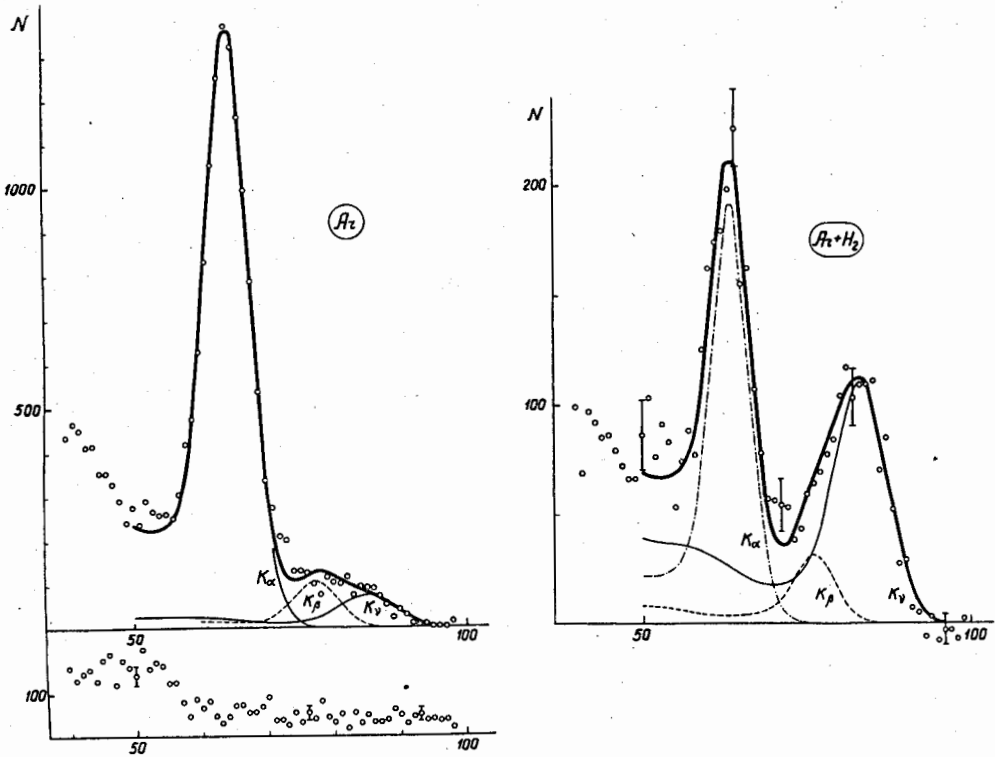


Рис. 4. Спектр рентгеновского излучения мюонов от мише ней Ar и
(Ar + H₂). Внизу - спектр продуктов ядерного захвата мюонов
в Ar.

$$R \cdot \frac{Z_{Ar}}{\sum Z_i}$$

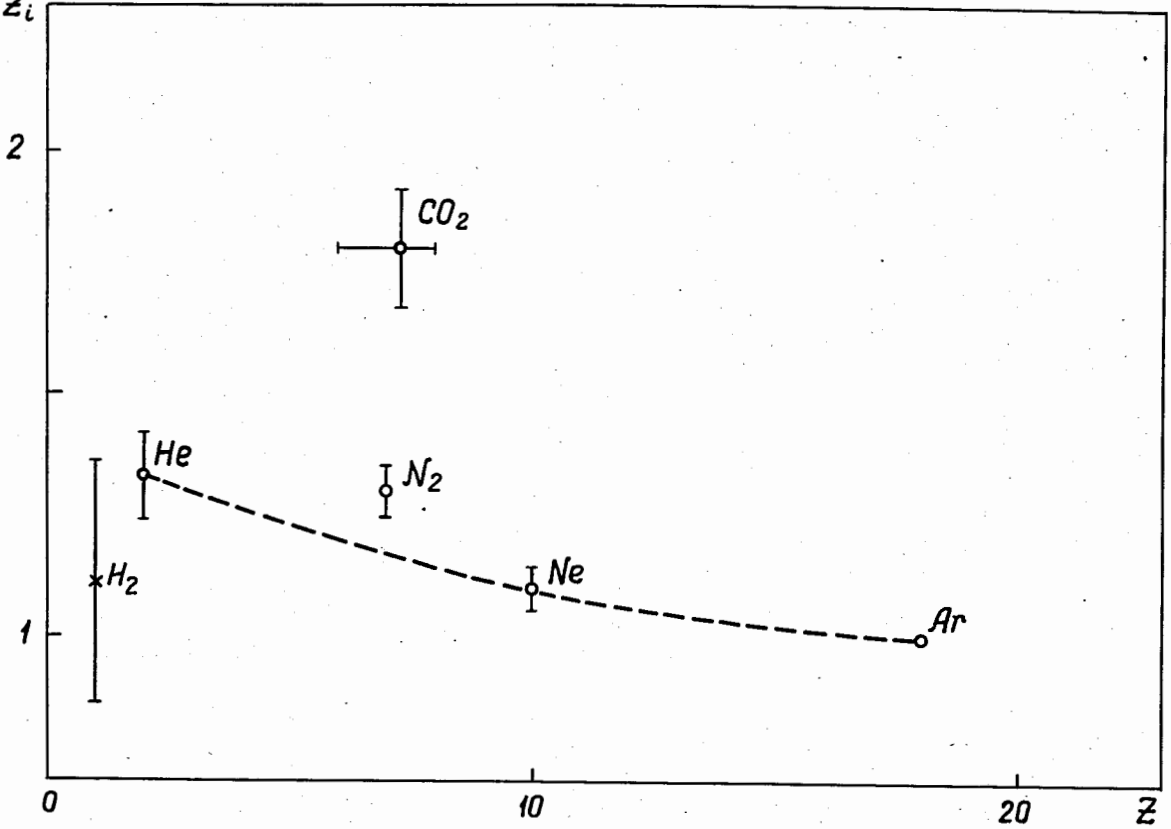


Рис. 5. Отношение вероятностей атомного захвата отрицательных мюонов в смеси газов на единицу заряда.